



①⑨ BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

①⑫ Patentschrift
①⑩ DE 34 08 779 C 2

⑤① Int. Cl.⁵:
G 01 F 5/00
G 01 F 1/68

②① Aktenzeichen: P 34 08 779.6-52
②② Anmeldetag: 9. 3. 84
④③ Offenlegungstag: 21. 3. 85
④⑤ Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 22. 7. 93

DE 3408779 C2

Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

③① Unionspriorität: ③② ③③ ③①
02.09.83 US 529057

⑦③ Patentinhaber:
Tylan Corp., Carson, Calif., US

⑦④ Vertreter:
Hansmann, A., Dipl.-Wirtsch.-Ing.; Vogeser, W.,
Dipl.-Ing., Pat.-Anwälte, 8000 München

⑦② Erfinder:
Drexel, Charles F., Rolling Hills Estates, Calif., US;
Blair, Richard F., Long Beach, Calif., US

⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit
in Betracht gezogene Druckschriften:
DE-PS 8 96 727
US 38 51 526

⑤④ Durchflußmesser

DE 3408779 C2

Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Durchflußmesser entsprechend dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Ein derartiger Durchflußmesser ist aus der DE-PS 8 96 727 bekannt. Bei diesem münden die beiden Anschlüsse der Abzweig-Meßleitung außerhalb des ringförmigen, konischen Spaltes, der sich zwischen dem Durchflußbegrenzer und der Bohrungswandung ergibt, in die Längsbohrung. Bei derartigen Durchflußmessern ist es erforderlich, in der Abzweig-Meßleitung eine laminare Strömung aufrecht zu erhalten, da nur dann die Strömungsrate dem Druckabfall über den beiden Anschlüssen der Abzweigleitung direkt und der Viskosität des Strömungsmittels indirekt proportional ist.

Um eine derartige laminare Strömung zu erreichen, wurde bei dem aus der US-PS 38 51 526 bekannten Durchflußmesser, bei dem die Anschlüsse der Abzweig-Meßleitung ebenfalls außerhalb des Bereichs des Durchflußbegrenzers in die Längsbohrung münden, die Verwendung von mit Kanälen versehenen Scheiben als Durchflußbegrenzer vorgeschlagen. Die Kanäle dieser Scheiben verlaufen radial und münden in einer zentralen Öffnung der Scheiben. Bei diesem Durchflußmesser ist die Auswahl eines bestimmten Meßbereichs nur durch Auswechseln des Durchflußbegrenzers möglich.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Durchflußmesser zu schaffen, bei dem auch in einem größeren Meßbereich sowohl in der Abzweig-Meßleitung der Meßeinrichtung als auch im Bereich des Durchflußbegrenzers eine laminare Strömung und damit ein konstantes Druckgefälle gewährleistet ist.

Gelöst wird diese Aufgabe gemäß der Erfindung durch die im kennzeichnenden Teil des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale. Zweckmäßige Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen.

Der vorgeschlagene Durchflußmesser beruht auf der Erkenntnis, daß es bei entsprechender Dimensionierung möglich ist, innerhalb des ringförmigen, konischen Spaltes, der zwischen dem Durchflußbegrenzer und der Wandung der Längsbohrung gebildet ist, eine laminare Strömung aufrecht zu erhalten. Dabei zeigt sich, daß die Nichtlinearität der Strömung außerhalb des Spaltes stromaufwärts von diesem weitaus größer als am stromabwärtigen Ende ist, weshalb auf jeden Fall der stromaufwärtige Anschluß der Abzweig-Meßleitung in den Spalt münden muß. Um den Durchflußmesser für den Durchsatz von höheren Strömungsmittelvolumina auszubilden, hat der Durchflußbegrenzer zweckmäßigerweise einen axialen zylindrischen Teil, einen Zwischenrohrabschnitt und einen äußeren Rohrabschnitt, zwischen denen ringförmige Zwischenräume liegen.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Fig. 1 bis 6 beispielsweise erläutert. Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der Strömungsmittelpfade eines Durchflußmessers,

Fig. 2, 3 und 4 teilweise im Schnitt verschiedene Ausführungsformen des Durchflußmessers gemäß der Erfindung,

Fig. 5 eine Rückansicht und

Fig. 6 einen Axialschnitt eines Durchflußbegrenzers in einer weiteren Ausführungsform.

Wie Fig. 1 zeigt, verlaufen Strömungsmittelpfade A und B durch einen Durchflußmesser von einem Einlaß P₁ zu einem Auslaß P₂, von denen der Pfad A den Strömungsmitteldurchfluß durch eine Durchflußmengen-Meßeinrichtung, der Pfad B den Strömungsmitteldurchfluß durch den Durchflußmesser darstellt. Der Druckabfall sollte optimalerweise über jedem Pfad gleich sein.

Die Fig. 2 und 3 zeigen einen Durchflußmesser 10 mit einem Gehäuse 12, mit einer Längsbohrung zur Bildung eines Durchlaßkanals 14. Der Durchlaßkanal 14 endet an einer Einlaßöffnung 16 und einer Auslaßöffnung 18 für das zu messende Strömungsmittel. Ein stromaufwärtiger Teil 20 des Kanals 14 hat ein Innengewinde 22 zur Aufnahme eines Einsatzes 24 mit Außengewinde, um den Kanal 14 mit einer nicht gezeigten Strömungsmittelquelle zu verbinden. Der stromaufwärtige Teil 20 hat einen Absatz 26, in dem sich ein Feinmaschensieb anschließt, das vom Einsatz 24 festgehalten wird und dazu dient, den Durchfluß von Fremdpartikelverunreinigungen zu unterbinden.

Wie Fig. 4 zeigt, hat die Auslaßöffnung 18 ein Innengewinde 30 zur Aufnahme eines nicht gezeigten Außengewindes an einem Einsatz 32, der den stromabwärtigen Anschluß des Kanals 14 ermöglicht. Jede der Fig. 2, 3, 4 zeigt stromaufwärts von den Auslaßöffnungen 18 ein Zwischenteil 34 des Kanals 14, das ein nicht gezeigtes Durchflußsteuerventil aufnehmen kann, das normalerweise während des Betriebs des Durchflußmeters in der offenen Position ist.

Stromauf- und stromabwärts liegende Abzweigungen im Gehäuse 12 in Form von Anschlüssen 36 bzw. 38 sind für die rohrförmigen Befestigungsenden 40 und 42 einer Abzweig-Meßleitung 44 vorgesehen. Thermische Elemente 46 und 48 erfassen die Strömungsmitteldurchflußmenge durch die Abzweig-Meßleitung. Die Elektronik des Durchflußmessers ist in einem zweiten Gehäuse 50 angeordnet.

Wie Fig. 2 zeigt, reicht ein Absatz 52 des Gehäuses 12 in den Kanal 14 bis über die Achse 54 und beläßt einen Kanal 56, der den dazwischenliegenden Zwischenteil 34 und einen Hauptdurchflußteil 58 des Kanals 14 verbindet. Der Hauptdurchflußteil 58 ist durch eine kegelstumpfförmige Wandung 60 im Gehäuse 12 begrenzt. Der Kegel der Wandung 60 ist nicht kritisch und wird nur durch Wirbel begrenzt, die durch das Angrenzen eines übermäßigen Konusses an Teilen des Kanals 14 verursacht werden können, die senkrecht zur Achse 54 verlaufen, oder durch Faktoren wie Auflösung der Einstellung oder andere Überlegungen. Ein Kegel mit 3 Grad ist beispielsweise gezeigt.

Der Absatz 52 hat eine Bohrung 62 mit Innengewinde, die einen Teil 64 einer Spindel 66 mit Außengewinde aufnimmt, die auf der Achse 54 des Kanals 14 angeordnet ist. Die Spindel 66 hat einen dickeren Zwischenteil 68 und endet in einem mit Außengewinde versehenen stromaufwärtigen Teil 70.

Die Spindel 66 trägt, wie Fig. 2 zeigt, einen kegelstumpfförmigen Durchflußbegrenzer 72 innerhalb des Durchflußkanals 14, wobei der Durchflußbegrenzer 72 eine Umfangsfläche 74 hat, die im wesentlichen parallel zur Wandung der kegelstumpfförmigen Bohrung 60 verläuft. Der Durchflußbegrenzer 72 wird von einem verdickten Teil 68 der Spindel 66 mittels O-Ringen 76 bzw. 78 gehalten, die in Nuten 80 und 82 in der Spindel 66

liegen. Der Durchflußbegrenzer 72 hat ein Nabenteil 84, das wiederum eine Bohrung 86 mit Innengewinde zur Verbindung mit dem mit Außengewinde versehenen stromaufwärtigen Teil 70 der Spindel 66 hat.

Die Spindel 66 kann zusammen mit dem Durchflußbegrenzer 72 in das Gehäuse 12 eingebaut werden, oder zunächst alleine, wobei der Durchflußbegrenzer 72 nachträglich aufgeschraubt wird. In jedem Fall wird der Gewindeteil 64 in die Bohrung 62 der Spindel 66 über einen Schlitz im Teil 70 festgezogen, bis das stromabwärtige Ende 90 des Teils 68 am Absatz 52 ansteht. Eine Sicherungsscheibe 92 kann zum weiteren Schutz der Spindel 66 dazwischen angebracht werden. Der Durchflußbegrenzer 72 hat an der stromaufwärtigen Stirnfläche des Nabenteils 84 Vertiefungen 94, die einen nicht gezeigten Schraubenschlüssel oder andere Einrichtungen aufnehmen können, um den Abstand der Umfangsfläche 74 zur Wandung 60 einstellen zu können, wie Fig. 3 im Detail zeigt.

Bei der Beschreibung von Fig. 3 sind, da bestimmte Grunddetails identisch mit der Beschreibung der Fig. 2 sind, die Bezugsziffern der Fig. 2 zur Bezeichnung ähnlicher Teile in Fig. 3 verwendet.

Fig. 3 zeigt den Durchflußbegrenzer 72, der von der Spindel 95 mit Außengewinde gehalten wird, die ein stromabwärtiges, gezahntes Teil 96 hat, das in einer axial zentrierten Bohrung 98 im Absatz 52 sitzt. Der Durchflußbegrenzer 72 hat eine Bohrung 100 mit Innengewinde, die in die Spindel 95 mit Außengewinde eingreift, damit der Durchflußbegrenzer 72 um diese drehbar ist, so daß sich der Durchflußbegrenzer 72 bezüglich des Gehäuses 12 vor- und zurückbewegen läßt. Die Drehung wird durch Einführen eines geeigneten Werkzeugs in eine Nut des Durchflußbegrenzers 72 ermöglicht. Durch diese Vor- und Rückbewegung kann sich der Durchflußbegrenzer 72 zwischen den gestrichelt eingezeichneten Linien 104 bzw. 106 bewegen, so daß sich die Dicke eines ringförmigen Spaltes 108 ändert, der zwischen der Umfangsfläche 74 und der Wandung 60 gebildet ist. Wenn sich der Durchflußbegrenzer 72 in axialer Richtung bewegt, wie beschrieben, wird er durch eine Spiralfeder 110 gesichert, die an dem Absatz 52 anliegt.

Bezüglich des Spaltes 108 ist die Art der Strömung durch diesen (dargestellt durch die Reynold'sche Zahl) eine Funktion der dritten Potenz der Dicke des Spaltes. Aus diesem Grund sollten die Umfangsfläche des Durchflußbegrenzers, sowie die Wandung der kegelstumpfförmigen Bohrung so konzentrisch wie möglich sein, um einen laminaren Durchfluß im Einstellbereich sicherzustellen.

Anhand der Fig. 4 wird eine alternative Ausführungsform beschrieben, in der Teile, die identisch sind mit denen aus Fig. 2 und 3, mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind.

Bei diesem Beispiel hat das Gehäuse 12 eine im wesentlichen zylindrische Bohrung 120, die mit dem Zwischenteil 34 über einen Kanal 122 verbunden ist. Der Zwischenteil 34 steht wiederum in Verbindung mit einem Kanal 123, der zu dem Auslaß 18 führt. Außerdem hat das Gehäuse 12 stromauf- und stromabwärtige Anschlüsse 36 bzw. 38, die in die Bohrung 120 münden.

Ein Einsatz 124 ist in der Bohrung 120 aufgenommen und wird darin durch ein Außengewinde 126 am stromaufwärtigen Ende 128 gehalten, wobei das Gewinde 126 in das Gewinde 22 des Gehäuses 12 eingreift. Der Einsatz 124 wird beim Verschrauben der Gewinde 22 und 126 mittels eines Vierkantschlüssels oder einer ähnlichen nicht gezeigten Einrichtung, der bzw. die in die Vertiefung 130 in das stromaufwärtige Ende 128 eingreift, axial gedreht.

Der Einsatz 124 hat eine Bohrung 132, die eine kegelstumpfförmige Wandung 134 hat, die sich bei dieser Ausführungsform gegen einen stromabwärtigen Abschnitt 136 verjüngt.

Eine Spindel 138 mit Außengewinde ist axial im Einsatz 124 angeordnet und durch Schweißen oder andere Verfahren an einem stromabwärtigen Endteil 140 davon befestigt. Die Spindel 138 hat ein Außengewinde 142, das das Innengewinde 144 des Durchflußbegrenzers 146 aufnimmt. Der Durchflußbegrenzer 146 hat Kegelstumpfform und hat eine Umfangsfläche im wesentlichen parallel zur kegelstumpfförmigen Wandung 134. Beim Einsetzen des Durchflußbegrenzers 146 in die Bohrung 134 durch Eingreifen der Gewinde 142 und 144, kann der Durchflußbegrenzer 146 durch ein geeignetes nicht gezeigtes Werkzeug gedreht werden, das in einen Schlitz 148 eingeführt wird, um die Einstellung des Durchflußbegrenzers 146 in Längsrichtung bezüglich des Einsatzes 124 und die Einstellung der Dicke des ringförmigen Spaltes 150 zu ermöglichen. Um eine unerwünschte Drehung des Durchflußbegrenzers 146 zu vermeiden, ist eine Feder 152 zwischen dem Durchflußbegrenzer 146 und dem Abstromteil 140 des Einsatzes 124 angeordnet.

Bei der Ausführungsform der Fig. 4 fließt das Strömungsmittel von der Einlaßöffnung 16 durch den Spalt 150, zwischen dem Durchflußbegrenzer 146 und der kegelstumpfförmigen Wandung 134, dann durch den stromabwärtigen Bohrungsabschnitt 135 weiter durch die zylindrischen Kanäle 154 bis hin zum Zwischenabschnitt 34. Von dort aus fließt das Strömungsmittel weiter in dem Kanal 134 bis zur Auslaßöffnung 18. Die Strömung durch den Spalt 150 ist laminar und wird mittels einer Meßeinrichtung gemessen, die anhand der Fig. 2 beschrieben wurde und die mit den Abzweigungen 36 und 38 in Verbindung stehen. Eine Strömung zwischen dem Einlaß 124 und dem Gehäuse 12 wird durch die ineinandergreifenden Gewinde 22 und 126 unterbunden. Es können auch nicht gezeigte Dichtringe zwischen dem stromaufwärtigen Teil 128 und dem Gehäuse 12 angeordnet werden.

Der Anschluß 36 ist mit dem Strömungsmittel über den Spalt 150 durch einen Kanal 155 im Einsatz 124 verbunden. In ähnlicher Weise steht der stromabwärtige Anschluß 132 mit dem Spalt 150 durch einen Kanal 156 in Verbindung. Ein unerwünschter Durchfluß zwischen den Kanälen 155 und 156, d. h. eine Strömung zwischen dem Einsatz 124 und dem Gehäuse 12 wird durch einen O-Ring 158 verhindert und eine ähnliche Strömung stromabwärts vom Kanal 156 wird durch einen O-Ring 160 verhindert. Diese O-Ringe sind in Vertiefungen 162 und 164 an der Oberfläche des Einsatzes 124 gehalten.

Anhand der Fig. 5 und 6 wird ein weiterer Durchflußbegrenzer 170 beschrieben. Der Durchflußbegrenzer 170 kann in einer der erläuterten Ausführungsformen oder für einen Anwendungsfall verwendet werden, bei dem ein wesentlich höheres Strömungsmittelvolumen durch den Primärströmungsmittelpfad gelangen soll, d. h., daß die Strömungsmittelrate einen Spalt erfordert, dessen Breite diejenige übersteigt, die zur Aufrechterhaltung einer laminaren Strömung erforderlich ist. Wie Fig. 6 zeigt, hat der Durchflußbegrenzer 170 Kegelstumpfform und bei

einem bestimmten Anwendungsfall eine Umfangswand 172, im wesentlichen parallel zu den beschriebenen kegelstumpfförmigen Bohrungen sowie eine Gewindebohrung 174, die eine Spindel aufnehmen kann, wie zuvor beschrieben wurde. Um eine zusätzliche Strömung zu ermöglichen, ist der Durchflußbegrenzer 170 mit einem zentralen zylindrischen Teil 176, einem Zwischenrohrabschnitt 178 und einem äußeren Rohrabschnitt 180 versehen, wobei die genannten Teile durch die Schweißnähte 182 miteinander verbunden sind, die ringförmige Zwischenräume 184 und 186 bilden, die die geeignete Breite haben, um eine laminare Strömung darin sicherzustellen. Obwohl andere laminare Durchflußkanäle in dem Durchflußbegrenzer 170 ausgebildet werden können, wie z. B. mehrere longitudinal gebohrte Kanäle, hat sich aber herausgestellt, daß die konzentrischen ringförmigen Kanäle, die in den Fig. 5 und 6 gezeigt sind, gegenüber den rohrförmigen Kanälen höhere Durchflußraten und einen besseren laminaren Durchfluß ermöglichen. Wie schon zuvor bei Fig. 1 und 2 beschrieben, hat der Durchflußbegrenzer 170 einen Schlitz 188, durch den der Durchflußbegrenzer 170 mit Hilfe eines geeigneten Werkzeugs innerhalb des Gehäuses 12 justiert werden kann.

Nun zur Theorie der zuvor beschriebenen einstellbaren laminaren Durchflußbypässe bezüglich der Aufrechterhaltung und Veränderung laminaren Durchflusses.

Eine Strömung durch einen Kanal kann charakterisiert werden durch den dimensionslosen Parameter, der als Reynold'sche Zahl bekannt ist.

$$R = 4 \mu p V_m / \mu \quad (1)$$

wobei p die Strömungsmitteldichte, V_m die mittlere Geschwindigkeit in der Leitung, μ die Viskosität des Strömungsmittels und m den hydraulischen Radius, der definiert ist, als das Verhältnis des Leitungsquerschnittes (A) zum Leitungsumfang (L), bezeichnet. Der effektive Durchmesser der Leitung kann mit $4m$ eingesetzt werden. Die Reynold'sche Zahl drückt das Verhältnis der Trägheitskräfte zu den viskosen Kräften im Strömungsmittel aus. Für kleine Werte von R ist der Durchfluß laminar, während für große Werte von R die Trägheitskräfte überwiegen und die Strömung turbulent zu werden neigt. Der Übergang der Reynold'schen Zahl liegt im allgemeinen zwischen etwa 1600 und 2800, d. h., bei einer Reynold'schen Zahl von weniger als 1600 wird angenommen, daß der laminare Durchfluß ermöglicht ist. Für irgendeine spezielle Anordnung kann der Übergang der Reynold'schen Zahl festgelegt werden, indem man die mittlere Geschwindigkeit, mit der ein Strömungsmittel bekannter Dichte und Viskosität turbulent durchfließt, bestimmt, und dann die Werte in die erläuterte Formel einsetzt. Jede der beschriebenen Ausführungsformen stellt eine spezifische Anordnung dar, um die laminare Strömung im Strömungspfad B in Kombination mit dem laminaren Durchfluß im Strömungspfad A zu ermöglichen. Bei jeder der Ausführungsformen ist das gemessene Strömungsmittel gasförmig, aber Anordnungen und Theorien können dabei ebenso für flüssige Strömungsmittel angewendet werden.

Eine andere bekannte Gleichung für den stationären Zustand laminarer Flüssigkeiten ist:

$$\frac{dp}{dl} = \frac{V}{m} \frac{1}{2} p V_m^2 \quad (2)$$

wobei V ein dimensionsloser Widerstandskoeffizient ist, der im laminaren Strömungsbereich dargestellt werden kann durch die Gleichung:

$$V = C/R \quad (3) \text{ wobei } C \text{ eine Konstante ist. Verknüpft man die Gleichungen 1 bis 3, so erhält man eine}$$

Gleichung, die die Linearität des Druckgradienten zum volumetrischen Durchfluß in der Leitung, darstellt:

$$\frac{dp}{dl} = \frac{CL^2}{8A^2} \mu V_m = K_1 \mu V_m \quad (4)$$

Aus den Gleichungen erhält man die Reynold'sche Zahl für die Meßeinrichtung im Pfad A als:

$$R_1 = \frac{4}{\pi} K_2 \frac{\dot{\omega}}{d} \quad (5)$$

wobei d der Durchmesser der Abzweigleitung ist und $\dot{\omega}$ der Mengenstrom in Einheiten von cm^3/min :

$$\dot{\omega} = \frac{K_1}{41} \frac{d^4}{L} dp \quad (6)$$

Für einen dünnen Ringraum eines mittleren Radius W und einer Spaltdicke t , wobei W viel größer ist als t , gilt:

$$R_1 = 2K_2 \frac{\dot{\omega}}{W+t} \quad (7)$$

und

$$\dot{\omega}_b = \frac{K_1 t^3}{12 L} dp \quad (8)$$

Bei den beschriebenen Ausführungsformen hatte die Abzweigleitung eine Länge (L) von 6,34 cm und einen Durchmesser (d) von 0,254 mm und eine optimale Kalibrierung bei einer Mengenströmung von 2 cm³/min; durch Anwendung von Gleichung (6) erhält man:

$$K_1 = 205 \cdot 10^8 / dp \quad (9)$$

Indem man den Wert für K₁ in Gleichung (6) einsetzt, erhält man:

$$\dot{\omega} = 5 \cdot 10^8 d^4 / L \quad (10)$$

Für einen Ringraum mit dem gleichen dp gilt bei Anwendung von Gleichung (8):

$$\dot{\omega}_b = \frac{205 \cdot 10^8 t^3 W}{12 L} = 17 \cdot 10^8 \frac{t^3 W}{L} \quad (11)$$

Aus empirischen Daten bezüglich der Abzweigleitung erhält man für K₂ den Wert 4,5 · 10⁻² bei $\dot{\omega} = 5$ cm³/min. K₂ in Gleichung (5) eingesetzt ergibt:

$$R_t = 6 \cdot 10^{-2} \frac{\dot{\omega}}{d} \quad (12)$$

K₂ in Gleichung (7) ergibt:

$$R_a = 9 \cdot 10^{-2} \frac{\dot{\omega}}{W+t} \quad (13)$$

worin die Dicke so vernachlässigbar ist, daß vereinfachend gilt:

$$R_a = 9 \cdot 10^{-2} \frac{\dot{\omega}}{W} \quad (14)$$

Dies besagt, daß die Zunahme des Massenstroms $\dot{\omega}$ erfolgen kann ohne gleichzeitige Zunahme der Reynold'schen Zahl (R), falls eine proportionale Zunahme des mittleren Umfangs des Spalts W benötigt wird.

Die Dimensionen für die beschriebenen, einstellbaren, laminaren Durchflußbegrenzer können empirisch festgelegt werden. Z. B. hat der Durchflußbegrenzer 72 in Fig. 3 einen minimalen Durchmesser (D) von 1,05664 cm, und der Spalt 108 zwischen dem Begrenzer 72 und der Bohrung 60 eine Länge (L) von 1,27 cm zwischen den Anschlüssen 36 und 38. Der Zwischenraum 108 hat einen Umfang (oder auch Weite) von $\pi \cdot (1,05664 \text{ cm}) = 3,3274 \text{ cm}$. Für einen Mengenstrom $\dot{\omega}$ von $20 \times 10^3 \text{ cm}^3/\text{min}$ ergibt die Gleichung (11) ein t von 0,41910 mm. Setzt man diese Daten in Gleichung (13) ein, so ergibt sich eine maximale Reynold'sche Zahl von 1354. Da dieses R geringer ist als der Reynold'sche Übergangswert von 1600, ergibt der Durchflußbegrenzer in Fig. 3 eine laminare Strömung.

Die Anschlüsse 36 und 38 sollten möglichst innerhalb des Spaltes, der durch den Durchflußbegrenzer und die kegelstumpfförmige Längsbohrung des Gehäuses gebildet ist, liegen. Es ist empirisch erwiesen, daß eine laminare Strömung in einem ringförmigen Spalt mit den Abmessungen, die zuvor beschrieben wurden, in einer Entfernung entsteht, die ungefähr 20mal der Spaltdicke (t) in stromabwärtsliegender Richtung vom Anfang des ringförmigen Spaltes aus, entsteht. Die Strömung bleibt wenigstens bis zum stromabwärts liegenden Ende des ringförmigen Spaltes laminar. So ist es auch erklärlich, daß, wenn die Anschlüsse 36 und 38 in der Laminarzone liegen, das Druckgefälle über den Abzweigungen proportional zur Durchflußrate im Durchflußbegrenzer ist. Da die Nichtlinearität beim Austritt viel geringer ist als die Nichtlinearität beim Eintritt, ist es möglich, den stromaufwärts liegenden Anschluß innerhalb der laminaren Durchflußzone und den stromabwärts liegenden Anschluß außerhalb der laminaren Durchflußzone anzuordnen und trotzdem noch eine ausreichende Linearität für gewisse Zwecke aufrechtzuerhalten.

Bei den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen ist zu beachten, daß man einen Konus von 3° für die kegelstumpfförmige Bohrung und den Durchflußbegrenzer hat. Für einen Konus von 3° und einen longitudinalen Hub des Durchflußbegrenzers von 0,85 cm ist die maximale Dicke des ringförmigen Spaltes (t_{max}) im Falle der Fig. 3: $0,8466 \text{ cm} \times \sin \Theta = 0,0442 \text{ cm}$. Setzt man diesen Wert mit Hilfe der durchschnittlichen Spaltweite (W) von 3,505 cm und einer Spaltraumlänge (L) von 1,27 cm in Gleichung (11), so erhält man einen maximalen Mengenstrom ($\dot{\omega}$) von 25 Litern pro Minute. Bei diesem maximalen Durchfluß erzielt der einstellbare Durchfluß-

begrenzer aus Fig. 3 eine Reynold'sche Zahl von ungefähr 1600, was innerhalb der Grenzen liegt, innerhalb derer eine laminare Strömung stattfindet.

Die Anordnung der Fig. 3 wurde getestet, um die Wirkung über einen weiten Bereich von Durchflußbegrenzer-einstellungen zu ermitteln. Die Spindel 95 und die Bohrung 100 werden mit 56 Umdrehungen pro 2,54 cm ineinandergeschraubt. Wie beschrieben, ist der Hub des Begrenzers 72 0,8646 cm vom vollen Eingriff bis zur maximalen stromaufwärtigen Rückholposition. Dadurch umfaßt der nutzbare Einstellbereich 18,6 Umdrehungen und die Veränderung der Spaltraumdicke (t) entsprach 0,254 mm pro Umdrehung. Eine angenommene Einstellgenauigkeit von $\pm 10^\circ$ gestattet eine Einjustierung der Spaltdicke (t) von $7,112 \times 10^{-5}$ cm. Die Anwendung der Gleichung (11) liefert die Abhängigkeit der Spaltraumdicke (t) vom Mengenstrom (ω) durch die Formel:

$$t^3 = 2,1 \cdot 10^{-6} \omega \quad (15)$$

Der einstellbare laminare Durchflußbegrenzer der Fig. 3 wurde in einen Durchflußmesser eingebaut und der Mengenstrom (ω) wurde in Abhängigkeit von der Rückholstellung des Durchflußbegrenzers gemessen, ausgedrückt in Umdrehungen der Windungsanzahl des vollen Eingriffs. Die Resultate dieser Tests sind in Tabelle 1 angeführt.

Tabelle 1

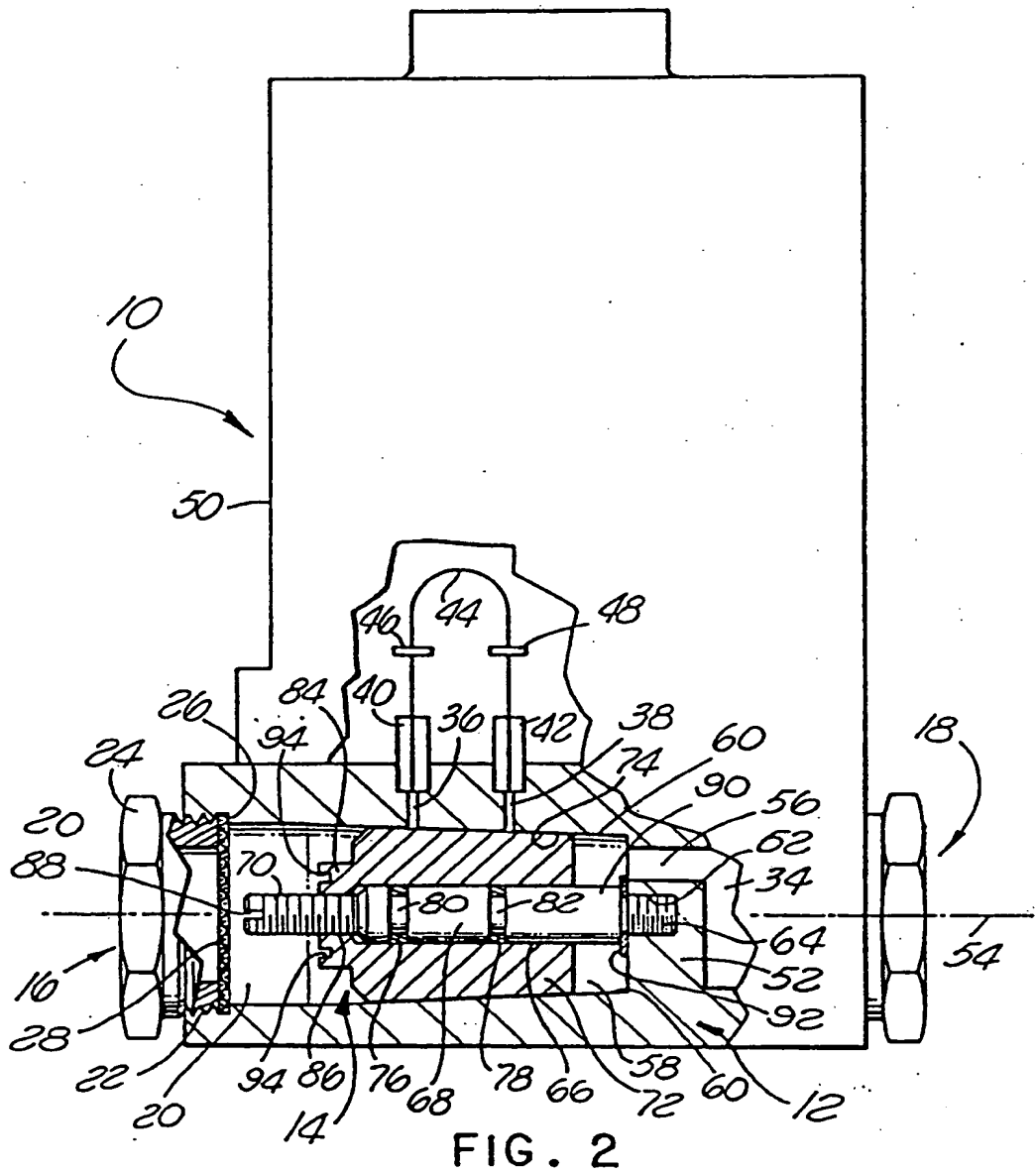
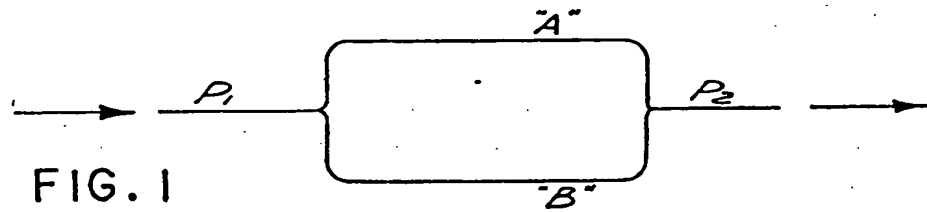
angezeigtes ω	10 cm ³ /min	100 cm ³ /min	500 cm ³ /min	1 dm ³ /min	10 dm ³ /min	20 dm ³ /min
Anzahl der Windungen 1,40 bzgl. des vollen Eingriffs		3,00	5,0	6,44	13,72	17,36
Hub (cm)	0,0635	0,13462	0,2286	0,2921	0,6223	0,7874
(inches)	(0,025)	(0,053)	(0,09)	(0,115)	(0,245)	(0,310)
berechnetes t (cm)	0,00302	0,00711	0,01194	0,01524	0,03251	0,04115
(inches)	(0,0013)	(0,0028)	(0,0047)	(0,006)	(0,0128)	(0,0162)
berechnete Auflösung Ra	7%	3%	2%	1,5%	0,7%	0,5%
	0,65	6,5	32,6	65,2	652	1304

Wie die berechneten Reynold'schen Zahlen zeigen, ist die gesamte Strömung bei Durchflußraten zwischen 10 ccm/min bis hin zu 20 dm³/min in einer Abzweigleitung mit einem Durchmesser von 0,254 mm und einer Länge von 6,35 cm laminar, und die Durchflußrate war mittels einer einfachen Drehung des Durchflußbegrenzers einstellbar. Eine visuelle Einstellung des Durchflußbegrenzers ergibt eine äußerst genaue Einstellung.

Patentansprüche

1. Durchflußmesser, bestehend aus einem Gehäuse mit einer Längsbohrung mit einer wenigstens teilweise konischen Wandung, innerhalb der ein Durchflußbegrenzer mit einer zur Bohrungswandung wenigstens teilweise parallelen Umfangsfläche axial verstellbar angeordnet ist, so daß sich ein ringförmiger, konischer Spalt zwischen dem Durchflußbegrenzer und der Bohrungswand ergibt, und aus einer Durchflußmengen-Meßeinrichtung mit einer Abzweig-Meßleitung, deren beide Anschlüsse in die Längsrichtung münden, dadurch gekennzeichnet, daß wenigstens der stromaufwärtige Anschluß der Anschlüsse (36, 38) der Abzweig-Meßleitung in den ringförmigen, konischen Spalt (108) innerhalb dessen laminarer Durchflußzone mündet.
2. Durchflußmesser nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchflußbegrenzer (72) zur axialen Verstellung von einer axialen Gewindespindel (66) gehalten ist.
3. Durchflußmesser nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Längsbohrung (14) am stromaufwärtigen und -abwärtigen Teil zum Anschluß je mit einem Innengewinde versehen ist.
4. Durchflußmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Längsbohrung (14) einen Absatz (52) zur Aufnahme des stromabwärtigen Teils (96) der Spindel (66) aufweist.
5. Durchflußmesser nach Anspruch 4, gekennzeichnet durch eine Spiralfeder (110) zwischen dem Absatz (52) und dem Durchflußbegrenzer (72).
6. Durchflußmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Konizität der Wandung (60) und des Durchflußbegrenzers (72) 3° beträgt.
7. Durchflußmesser nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Durchflußbegrenzer (170) ein zentrales zylindrisches Teil (176), einen Zwischenrohrabschnitt (178) und einen äußeren Rohrabschnitt (180) aufweist, zwischen denen sich ringförmige Zwischenräume (184, 186) befinden.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen



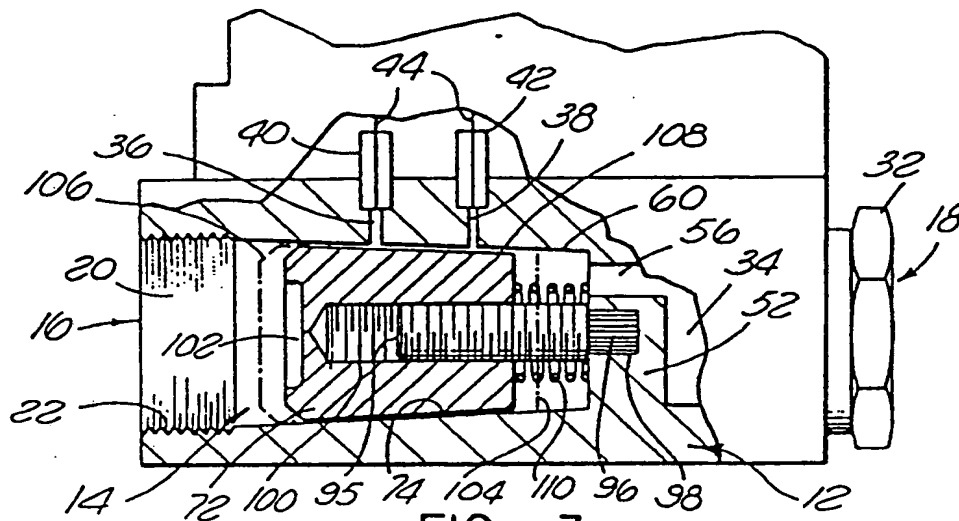


FIG. 3

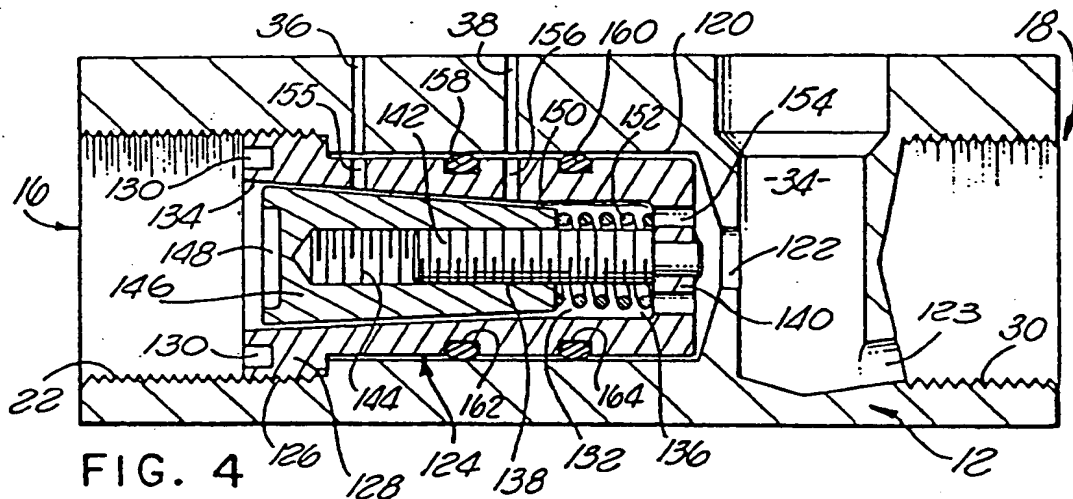


FIG. 4

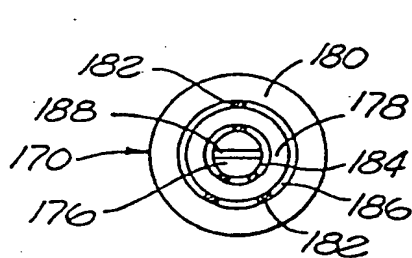


FIG. 5

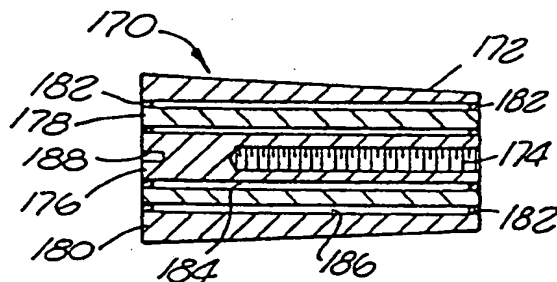


FIG. 6

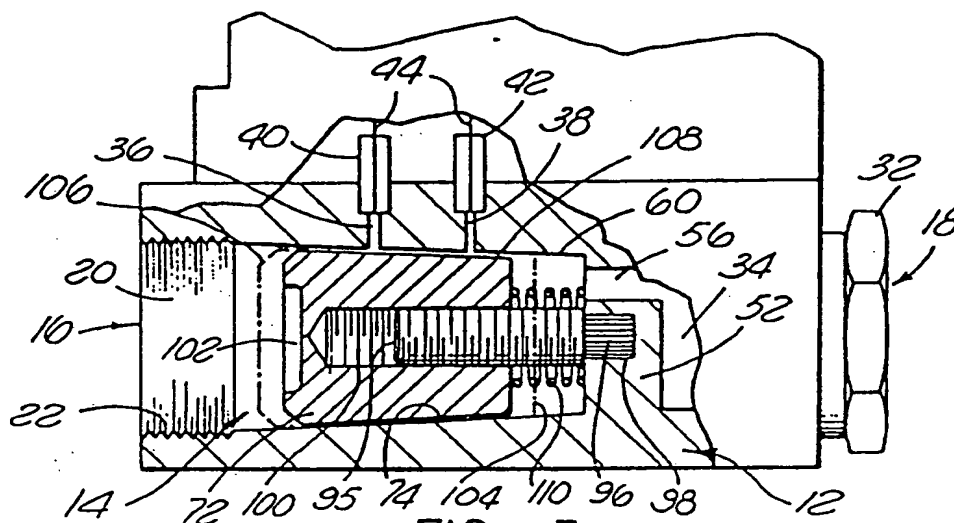


FIG. 3

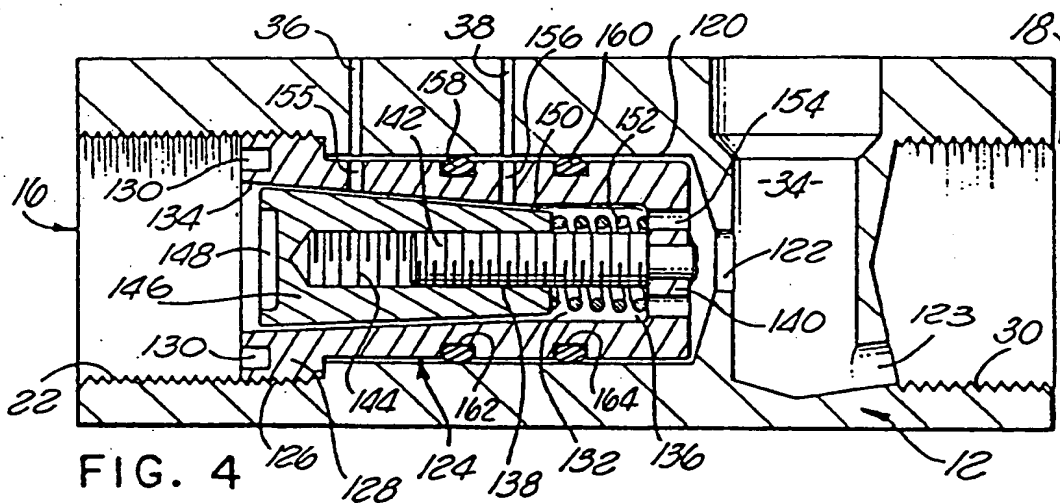


FIG. 4

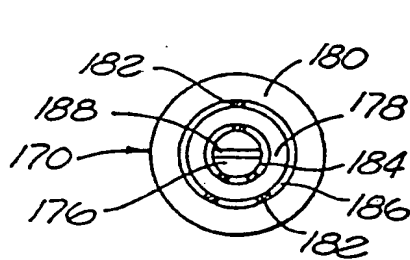


FIG. 5

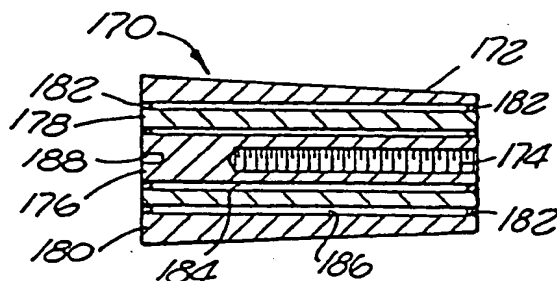


FIG. 6